УДК 504.062.2
DOI 10.23947/2541-9129-2017-3-33-46

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА АКВАТОРИИ

В. В. Озерянская, Р. Р. Лазуренко,
А. Р. Данилова, Е. В. Лакуш

Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

bommvoz@mail.ru
lirtokas@mail.ru
ms.anastasiya1994@mail.ru
Elizaveta-sergeevna94@mail.ru

Выполнено прогнозирование вероятных сценариев возникновения аварийных разливов нефтепродуктов при осуществлении перегрузочной деятельности на акватории. Рассмотрены основные причины возможных аварий, к которым относятся различные виды повреждения узловых компонентов переливного оборудования при проведении погрузочно-разгрузочных операций между судами. Выполнены расчёты объёмов и масс аварийных разливов дизельного топлива, вакуумного газойля и мазута в зависимости от условий возникновения аварий. Отмечена практическая значимость работы, указаны области применения полученных результатов.

Ключевые слова: нефтепродукты, аварийный разлив, прогнозирование, количественная оценка

Введение. Современный мир трудно представить без масел и топлива, бытовой химии, медицинских препаратов, одежды и обуви, современных дорожных покрытий. Эти и другие блага цивилизации в значительной степени являются результатом преобразования нефтепродуктов [1, 2]. Нефтепродукты — это смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и

UDC 504.062.2
DOI 10.23947/2541-9129-2017-3-35-46

FORECASTING AND QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ACCIDENTAL OIL SPILLS IN TRANSSHIPMENT ACTIVITIES ON THE WATER

V. V. Ozeryanskaya, R. R. Lazurenko,
A. R Danilova., E. V. Lakush

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

bommvoz@mail.ru
lirtokas@mail.ru
ms.anastasiya1994@mail.ru
Elizaveta-sergeevna94@mail.ru

The article presents the performed forecast of probable scenarios of accidental oil spills in transshipment activities on the water. It considers the main causes of possible accidents, which include various types of damage to nodal components of transshipment equipment during loading-unloading operations between ships. The authors have carried out the calculations of volumes and masses of accidental spills of diesel fuel, gasoil and fuel oil depending on the conditions of occurrence of accidents. The practical significance of the work, along with the scopes of the results obtained is discussed.

Keywords: petroleum products, accidental spill, forecasting, quantitative assessment

Introduction. The modern world is inconceivable without oil and fuel, household chemicals, medicines, clothes and shoes, modern road surfaces. These and other benefits of civilization are largely the result of petroleum products processing [1, 2]. Petroleum is a mixture of hydrocarbons, as well as individual chemical compounds derived from

нефтяных газов. К нефтепродуктам относятся различные виды топлива (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, вакуумный газойль и др.), смазочные материалы, электроизоляционные среды, растворители и др. [1].

Очевидно, что добыча нефти играет важную роль в мировом развитии. Однако нефть и продукты её переработки в случае поступления в окружающую среду становятся опасными для человека, растительного и животного мира [3, 4].

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, периодически возникающие на объектах нефтедобычи и нефтепереработки, а также при транспортировке нефтепродуктов, часто являются причинами серьёзных экологических катастроф, которые наносят значительный вред природным экосистемам, приводят к негативным экономическим и социальным последствиям [1, 4].

В настоящее время, в связи с изменившейся за последние годы политической ситуацией, морские порты черноморского побережья России получили новый мощный толчок к интенсивному развитию, которое проявилось, в том числе, в резком росте грузооборота нефти и нефтепродуктов. Это, в свою очередь, привело к увеличению частоты и вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийными проливами нефти и нефтепродуктов на водную поверхность и негативным воздействием таких разливов на окружающую среду [1, 3, 5]. Возможные экологические последствия при этом носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи в водной среде [3, 6]. Для организации эффективной и быстрой ликвидации морских нефтяных разливов и защиты от них прибрежных территорий чрезвычайно важно заблаговременно прогнозировать вероятность возникновения аварийных ситуаций в местах осуществления интенсивной перегрузки нефтепродуктов, а также выполнять

petroleum and petroleum gases. Oil products include various types of fuel (gasoline, kerosene, diesel fuel, fuel oil, vacuum gas oil, etc.), lubricants, electrical environments, solvents etc. [1].

It is obvious that oil production plays an important role in the world development. However, oil and products of its processing if enter the environment are dangerous to human, plant and animal life [3, 4]. Accidental spills of oil and oil products that could occur at oil production facilities and refineries, and in transportation of oil products, are often the causes of serious environmental disasters, which cause significant harm to natural ecosystems, lead to negative economic and social consequences [1, 4].

Currently, due to the changed in recent years political situation, the seaports of the Black sea coast of Russia have received a powerful new impetus to intensive development, which appeared, in particular, in the sharp increase of turnover of oil and oil products. This, in turn, has led to an increase in the frequency and probability of occurrence of emergencies connected with accidental spills of oil and oil products on water surface and the negative impact of such spills on the environment [1, 3, 5]. Potential environmental impacts in this case are difficult to estimate as oil pollution violates many of the natural processes and interrelationships in the aquatic environment [3, 6]. For effective and rapid elimination of marine oil spills and protection of the coastal areas it is extremely important to predict in advance the probability of occurrence of emergency situations in places of intensive transshipment of oil products, and to perform a quantitative assessment of potential negative

количественную оценку масштабов возможных негативных воздействий.

Прогнозируемые аварийные ситуации. Одними из наиболее распространённых нефтепродуктов, перегрузка которых производится в местах расположения рейдовых перегрузочных районов на акваториях морских портов черноморского побережья России, являются различные виды топлива, в том числе вакуумный газойль, мазут, дизельное топливо. Перегрузка топлива на акваториях производится, как правило, по варианту «борт — борт» через судно-накопитель с использованием судов-привозчиков и судов-отвозчиков, которыми служат специализированные нефтеналивные суда (нефтяные танкеры) с двойным корпусом и грузовыми танками различной вместимости, расположенными параллельно по обоим бортам судна [7, 8]. Перегрузка нефтепродуктов с судна на судно осуществляется в автоматическом режиме закрытым способом с использованием насосного оборудования, грузовых трубопроводов, гибких шлангов, оборудованных фланцами, заглушками и т. п. [7, 8]. Применяемые технологии перегрузки позволяют предполагать, что возникновение разливов нефтепродуктов на акватории может произойти вследствие утечки нефтегруза в результате нижеперечисленных аварийных ситуаций, обусловленных, в том числе, различными видами повреждения переливного оборудования:

1) малое повреждение перегрузочного шланга;
2) перелив (переполнение) грузового танка судна при погрузке;
3) частичный разрыв перегрузочного шланга;
4) полный разрыв перегрузочного шланга;
5) повреждение борта или днища грузового танка судна;
6) повреждение двух смежных грузовых танков в результате перелома судна (так называемый нормативный разлив с 50% опорожнением танков [9]).

Количественная оценка объёмов и масс нефтепродуктов, которые могут поступить в

impacts.

Predictable emergencies. Among the most common petroleum products, transshipment of which is produced in the roadstead transshipment areas of seaports of the Black sea coast of Russia there are different types of fuel, including vacuum gas oil, fuel oil, diesel fuel. Transshipment on the water is made, as a rule "Board to Board" through the ship drive with the use of ships that come and go, which are special tankers (oil tankers) with double hull and cargo tanks of different sizes, arranged in parallel on the both sides of the vessel [7, 8]. Transshipment of petroleum products from vessel to vessel is carried out automatically by a closed method using pumping equipment, cargo pipes, and flexible hoses equipped with flanges, plugs, etc. [7, 8]. The applied technology suggests that the occurrence of oil spills in the waters can occur due to leakage of oil cargo as a result of the following emergency situations, including different types of damage to the equipment:

1) small damage to a handling hose;
2) overflow of the cargo tank of the vessel during loading;
3) partial tear of a handling hose;
4) complete tear of a handling hose;
5) damage to the board or the bottom of a cargo tank of a vessel;
6) damage to the two adjacent cargo tanks as a result of the fracture of the vessel (so-called regulatory spill with 50% emptying of the tanks [9]).

Quantitative assessment of the volume and mass of oil that can enter the waters as a result

акваторию вследствие реализации прогнозируемых сценариев аварийных ситуаций, выполнялась в соответствии с рекомендациями [9–13].

Утечка нефтегруза в результате малого повреждения перегрузочного шланга. В случае образования малого повреждения перегрузочного шланга (сквозной свищ, трещина, неплотность фланцевого соединения) расход нефтепродукта через аварийное отверстие составит:

$$Q = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_{эк}^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \qquad (1)$$

где $d_{эк}$ — эквивалентный диаметр аварийного отверстия; $d_{эк}$ = 25 мм — один из основных размеров, принимаемых при прогнозировании аварий ёмкостного оборудования; μ — коэффициент истечения, определяемый вязкостью перекачиваемой жидкости, причем для принятого размера аварийного отверстия $d_{эк}$, видов жидкостей (дизельное топливо, вакуумный газойль, мазут) и режимов истечения (критерий *Re*) величина μ составляет 0,73–0,78; g = 9,81 м/с^2 — ускорение свободного падения; H — напор, обусловленный давлением P в аварийном сечении, м; фактические значения P для типового насосного оборудования нефтяных танкеров составляют 2–3 кг/см^2, следовательно H = 20–30 м.

Объём разлива:

$$V = 60 \cdot Q \cdot t, \qquad (2)$$

где t — время остановки перекачки; в соответствии с [13] расчётное время отключения трубопроводов при отсутствии резервирования элементов управления составляет 120 с, при ручном управлении отключения трубопроводов — 300 с. В настоящем расчёте принято t = 120 с.

Таким образом, максимальный объём разлива нефтепродуктов в результате малого повреждения перегрузочного шланга, рассчитанный по формулам (1)–(2), составляет V = 1,1 м^3.

Плотность нефтепродуктов при 15 °С равна: мазут (марка М-100) — 994,2 кг/м^3; дизельное топливо (по ГОСТ 305–82) — 831,1 кг/м^3; вакуумный газойль (марки А и Б) — 920,6 кг/м^3

of the predicted emergency scenario was carried out in accordance with the recommendations [9-13].

Leakage of oil cargo in the result of a small damage to the handling hose. In case of small damage to the handling hose (through a hole, crack, loose flange connection) flow rate of oil through the escape hole will be:

$$Q = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_{эк}^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \qquad (1)$$

where *d*эк — the diameter equivalent to the accident hole; *d*эк = 25 mm — one of the main dimensions adopted in the prediction of tanks accidents; μ — the coefficient of discharge, determined by the viscosity of the fluid, and for the accepted size of the accident hole *d*эк, kinds of liquids (diesel fuel, vacuum gasoil, fuel oil) and flow rates (criterion *Re*), the value of μ is 0,73–0,78; g = 9,81 m/s2 — free fall acceleration; H is the head flow determined by the pressure P in the emergency section, m; the actual values of R for standard pumping equipment of oil tankers are 2-3 kg/cm2, and therefore, H = 20-30 m

The volume of the spill:

$$V = 60 \cdot Q \cdot t, \qquad (2)$$

where t is the stopping time of the transshipment; in accordance with [13] the estimated time to shutdown pipelines with no redundancy of controls is 120 s, for manual control the shutdown — 300 s. In this calculation it is accepted that t = 120 s.

Thus, the maximum volume of oil spill in the result of a small damage to a handling hose, calculated according to the formulas (1)–(2) is V = 1,1 m^3.

The density of oil at 15 ° C is for fuel oil (M-100) — 994,2 kg/m^3; diesel fuel (GOST 305-82) — 831,1 kg/m^3; vacuum gas oil (grade A

[14]. Следовательно, масса разлившихся нефтепродуктов при рассчитанном объёме 1,1 м^3 составляет: мазут — 1,09 т; дизельное топливо — 0,91 т; вакуумный газойль — 1,01 т.

Утечка нефтегруза в результате перелива (переполнения) грузового танка судна при погрузке. При выполнении погрузочно-разгрузочных операций существует опасность возникновения перелива (переполнения) грузовых танков в результате ошибочных действий (бездействия) персонала и/или отказа технических средств. Определение количественных параметров разлива в результате подобной аварии основано на оценке сверхнормативного времени погрузки танка, когда после заполнения его полного (100%) объёма, происходит поступление нефтегруза на палубу загружаемого судна и, в дальнейшем, в акваторию.

Величина подачи грузовых насосов судна, осуществляющего погрузку, в завершающей части погрузки составляет Q = 600 м^3/ч (0,167 м^3/с) [8], а сверхнормативное время погрузки до её остановки — t = 300 с [13]. При этом на палубу загружаемого судна поступит до 50 м^3 нефтепродуктов, половина которых может быть удержана конструкцией палубы, а половина, т. е. около 25 м^3, попадёт за борт в акваторию [7]. С учётом плотности нефтепродуктов [14], их масса при данном объёме составит: дизельное топливо — 20,8 т; вакуумный газойль — 23 т; мазут — 24,8 т.

Утечка нефтегруза в результате частичного разрыва перегрузочного шланга. В этом случае объём прогнозируемого разлива, определённый по формуле (2) при максимальной подаче грузового насоса Q = 3500 м^3/ч [8], составит V = 292 м^3. При этом учтено возникновение дополнительной нештатной ситуации, когда наряду с разрывом перегрузочного шланга произошёл отказ аппаратуры отключения трубопровода и потребовался переход на ручное управление, поэтому время остановки перекачки (t в формуле (2)) принято равным 300 с [13]. Весь

and B) — 920,6 kg/m^3 [14]. Consequently, the mass of the spilled oil with a calculated volume of 1,1 m^3 is for oil — 1,09 t; diesel fuel — 0,91 t; vacuum gas oil — 1,01 t

Leakage of oil cargo in the result of overflow of the cargo tank of the vessel during transshipment. In loading and unloading operations, there is a risk of overflow of the cargo tanks in the result of erroneous actions (omissions) of staff and/or failure of technical equipment. Determination of quantitative parameters of the spill as a result of this accident is based on the estimate of the excess time of tank loading, when after filling it to full volume (100%), there is a flow of oil cargo on the deck of the vessel and, further, into the waters.

The rate of the cargo pumps of the vessel is responsible for loading, in the final part of the loading it is Q = 600 m^3/h (0,167 m^3/s) [8], and excessive loading time to stop is t = 300 [13]. At this up to 50 m^3 of petroleum products will go to deck of the vessel, half of which may be retained by the construction of the deck, and the other half, i.e., about 25 m^3, will fall overboard into the waters [7]. Taking into account the density of petroleum products [14], its mass for a given volume will be for diesel fuel — 20,8 t; vacuum gas oil is 23 tons; fuel oil — 24,8 t

Leakage of oil cargo in the result of partial tear of a handling hose. In this case, the projected spill volume calculated by the formula (2) with a maximum flow of the pump Q = 3500 m^3/h [8], will be V = 292 m^3. This include additional non-standard situation, when along with a gap in a handling hose, the pipeline shutdown equipment failed and there was the need to switch to manual control, so the stop time of pumping (t in the formula (2)) was equal to 300 [13]. The entire loss of oil cargo in

объём утечки нефтегруза при подобном аварийном сценарии может поступить в морскую среду. С учётом плотности разлившихся нефтепродуктов [14], их масса при рассчитанном объёме составит: дизельное топливо — 242,7 т; вакуумный газойль — 268,8 т; мазут — 290 т.

Утечка нефтегруза в результате полного разрыва перегрузочного шланга. Разгерметизация грузового шланга с разрывом на полное сечение возможна при несоблюдении предписаний сертификатов, правил и условий эксплуатации, нарушениях существующих ограничений, нерасчётных внешних воздействиях и т. д. В данном случае весь объём разлившихся нефтепродуктов с высокой степенью вероятности поступит в акваторию. Прогнозирование объёмов возможных разливов нефтегруза сводится к определению времени аварийного истечения продукта в окружающую среду при расчётном расходе в шланге (скорости погрузки/выгрузки). Для максимального времени перекрытия потока t = 300 с [13], с учётом формулы (2) и плотности нефтепродуктов [14], объёмы и массы прогнозируемых разливов составляют:

1) V = 100 м^3 — при погрузке судна и расходе Q = 1200 м^3/ч (0,333 м^3/с) при работе шести насосов с максимальной подачей по 200 м^3/ч [8]. Массы разлившихся нефтепродуктов: дизельное топливо — 83,1 т; вакуумный газойль — 92,1 т; мазут — 99,4 т;

2) V = 583 м^3 — при выгрузке судна и расходе Q = 7000 м^3/ч (1,94 м^3/с) при работе двух насосов с максимальной подачей 7000 м^3/ч [8]. Массы разлившихся нефтепродуктов: дизельное топливо — 484,5 т; вакуумный газойль — 536,7 т; мазут — 579,6 т.

such emergency scenarios may come into the marine environment. Taking into account the density of the spilled oil [14], its weight by the calculated volume will be for diesel fuel 242,7 t; vacuum gas oil — 268,8 t; fuel oil — 290 t, etc.

Leakage of oil cargo in the result of the complete tear of a handling hose. Depressurization of the handling hose with the rupture on the total cross section is possible if there are failures to comply with the requirements of the certificates, terms and conditions of use, violations of existing restrictions, unplanned external influences, etc. In this case, the entire volume of the spilled oil with a high degree of probability will go into the waters. Prediction of the volume of potential spills of oil cargo comes down to determination of time of an emergency leakage of the product into the environment having the estimated flow rate in pipe (speed of loading/unloading). For the maximum shutdown time of flow t = 300 [13], taking into account formulas (2) and oil density [14], the volume and mass of the projected spills are:

1) V = 100 m^3 during loading of the vessel and Q = 1200 m^3/h (0,333 m^3/s) when six pumps with max flow of 200 m^3/h are in operation [8]. The mass of the spilled oil will be for diesel fuel - 83,1 t; vacuum gas oil — 92,1 t; fuel oil — 99, 4 t;

2) V = 583 m3 during unloading of the vessel and Q = 7000 m^3/h (1,94 m^3/s) when two pumps with a maximum flow of 7000 m^3/h are in operation [8]. The mass of the spilled petroleum products will be for diesel fuel 484,5 t; vacuum gas oil — 536,7 t; fuel oil — to 579,6 t.

Утечка нефтегруза в результате повреждения борта и/или днища судна. Разлив нефти и нефтепродуктов при повреждении борта и/или днища судна может произойти, например, в результате столкновения, при ударе стороннего судна или посадки на мель. Эмпирическое значение общего разлива при повреждении борта и/или днища танкера определяется согласно [12]. Величина общего расчётного разлива представляет собой неполную сумму объёмов разливов при вероятном повреждении борта (Q_c) и днища (Q_s) судна, м^3:

$$Q_{общ} = 0{,}4 \cdot Q_c + 0{,}6 \cdot Q_s . \quad (3)$$

Таким образом, согласно формуле (3), в соответствии с методикой [12], вероятные разливы при повреждении борта и днища судна определяются отдельно, а после этого определяется общий предполагаемый разлив.

В случае повреждения борта судна коэффициент вероятности повреждения грузового танка составит [12]:

$$q_c = \left(1 - {s_i}/{t_c}\right) \times \frac{l_i + l_c}{L_t + l_c}, \quad (4)$$

где s_i = 2,6 — расстояние от наружной обшивки корпуса до границы грузового танка, м; $t_c = B/5$ = 10 — поперечная протяжённость повреждения борта, м; B = 48 — ширина судна, м; l_i = 33,6 — длина грузового танка, м; $l_c = {1}/{3} L^{2/3}$ = 14 — продольная протяжённость повреждения борта, м; L = 274 — длина судна, м; L_t = 264 — длина между передней и задней оконечностями грузовых танков, м [7, 8].

Таким образом, коэффициент вероятности повреждения грузового танка ввиду повреждения борта судна, рассчитанный по формуле (4), составляет q_c = 0,125.

Объём прогнозируемого разлива из грузового танка при повреждении борта судна [12]:

$$Q_c = q_c \cdot V_i , \quad (5)$$

где V_i = 14841,2 м^3 — максимальная вместимость грузового танка [8].

Таким образом, объём предполагаемого разлива из грузового танка при повреждении

Leakage of oil cargo in the result of the damage to the sides and/or bottom of the vessel. Oil and petroleum products spill in the result of the damage to the board and/or the bottom of the vessel can occur, for example, in a collision, collision with a third party vessel or running aground. The empirical value of the total spill damage to the board and/or the bottom of the tanker is determined according to [12]. The total estimated spill is a partial sum of the volumes of spills at a probable damage to the side (Q_c) and bottoms (Q_s) of the vessel, m^3:

$$Q_{общ} = 0{,}4 \cdot Q_c + 0{,}6 \cdot Q_s . \quad (3)$$

Thus, according to the formula (3), in accordance with the methodology of [12], the probability of a spill in the result of the damage to the sides and bottoms of the vessel is determined separately and then the total estimated spill is determined.

In case of damage to the vessel the coefficient of probability of damage to cargo tank will be [12]:

$$q_c = \left(1 - {s_i}/{t_c}\right) \times \frac{l_i + l_c}{L_t + l_c}, \quad (4)$$

where s_i = 2,6 — the distance from the shell plating to the side of the cargo tank, m; t_c = B/5 = 10 - the transverse extent of the side damage, m; B = 48 — the width of the vessel, m; l_i = 33,6 — the cargo tank length, m; $l_c = {1}/{3} L^{2/3}$ = 14 — the longitudinal extent of the side damage, m; L = 274 — the length of the vessel, m; L_t = 264 - the length between the front and rear extremities of the cargo tanks, m [7, 8].

Thus, the coefficient of the probability of damage to cargo tank due to damage to the vessel, calculated by the formula (4) is q_c = 0,125.

The amount of the projected spillage from the cargo tank in the result of the damage to the vessel [12]:

$$Q_c = q_c \cdot V_i , \quad (5)$$

where V_i = 14841,2 m^3 — the maximum capacity of a cargo tank [8].

Thus, the amount of the estimated spill from

борта судна, рассчитанный по формуле (5), составит Q_c = 1855,2 м^3.

При повреждении днища судна коэффициент вероятности повреждения грузового танка составит [12]:

$$q_s = \left(1 - {h_i}/{v_s}\right) \times \frac{(l_i + l_s)\times(b_i + b_s)}{(L_t + l_s)\times(B_t + b_s)}, \quad (6)$$

где h_i = 2,64 — высота двойного дна, м; v_s = B/15 = 3,2 — вертикальная протяжённость повреждения днища, м; B = 48 — ширина судна, м; l_i = 33,6 — длина грузового танка, м; l_s = 0,2L = 54,8 — продольная протяжённость повреждения днища, м; L = 274 — длина судна, м; b_i = 16,9 — ширина грузового танка, м; b_s = B/6 = 8 — поперечная протяжённость повреждения днища, м; L_t = 264 — длина между передней и задней оконечностями грузовых танков, м; B_t = 42,8 — ширина грузовой зоны, м [7, 8].

Таким образом, коэффициент вероятности повреждения грузового танка ввиду повреждения днища судна, рассчитанный по формуле (6), составляет q_s = 0,0238.

Коэффициент разлива ввиду гидростатического избыточного давления в грузовых танках [12]:

$$q_h = 1 - \frac{\rho_s(d - h_i)\times g - 100\Delta p}{1{,}1\times\rho_c\times h_c\times g}, \quad (7)$$

где ρ_c — номинальная плотность нефтегруза, т/м^3; ρ_s = 1,025 — плотность морской воды, т/м^3; d = 17,02 — осадка судна при полной загрузке, м; h_c = 20,72 — высота столба груза над днищем грузового танка, м; Δp = 0,05 — наибольшее нормальное избыточное давление в грузовом танке, бар; g = 9,81 — ускорение свободного падения, м/с^2; 1,1 — коэффициент, учитывающий промежуточные потери, волнение и прилив [7, 8].

Таким образом, для грузовых танков коэффициент разлива ввиду гидростатического избыточного давления, рассчитанный по формуле (7), составляет q_h = 0,37.

Объём прогнозируемого разлива из грузовых танков при повреждении днища судна [12], м^3:

$$Q_s = q_s \cdot q_h \cdot V_i. \quad (8)$$

a cargo tank in the result of the damage to the vessel, calculated by the formula (5) is Q_c = 1855,2 m^3.

At damage to the bottom of the vessel, the coefficient of probability of damage to the cargo tank will be [12]:

$$q_s = \left(1 - {h_i}/{v_s}\right) \times \frac{(l_i + l_s)\times(b_i + b_s)}{(L_t + l_s)\times(B_t + b_s)}, \quad (6)$$

where h_i = 2,64 — the double bottom height, m; v_s = B/15 = 3,2 — the vertical extent of bottom damage, m; B = 48 — the width of the vessel, m; l_i = 33,6 — the cargo tank length, m; l_s = 0,2 L = 54,8 – the longitudinal extent of bottom damage, m; L = 274 — the length of the vessel, m; b_i = 16,9 — the width of the cargo tank, m; b_s = B/6 = 8 — the transverse extent of bottom damage, m; L_t = 264 - the length between the front and rear extremities of the cargo tanks, m; B_t = 42,8 — the cargo area width, m [7, 8].

Thus, the coefficient of the probability of damage to the cargo tank due to thebdamage to the bottom of the vessel, calculated by the formula (6) is q_s = 0,0238.

The spill factor due to the hydrostatic overpressure in cargo tanks [12]:

$$q_h = 1 - \frac{\rho_s(d - h_i)\times g - 100\Delta p}{1{,}1\times\rho_c\times h_c\times g}, \quad (7)$$

where ρ_c - the nominal density of the oil cargo, t/m^3; ρ_s = 1,025 - the density of the sea water, t/m^3; d = of 17,02 — the draught of the fully loaded ship, m; h_c = 20,72 — the post height of cargo above the bottom of the cargo tank, m; Δp = 0,05 - the highest normal overpressure in the cargo tank, bar; g = 9,81 — free fall acceleration, m/s^2; 1,1 — the coefficient, which takes into account interim losses, the sea disturbance and tide rise [7, 8].

Therefore, for cargo tanks, the spill factor due to the hydrostatic overpressure, calculated by the formula (7) is q_h = 0,37,

The amount of the projected spillage from cargo tanks because of the damage to the bottom of the vessel [12], m^3:

$$Q_s = q_s \cdot q_h \cdot V_i. \quad (8)$$

Вычисленный объем составил Q_s = 130,7 м^3.

Таким образом, общий прогнозируемый разлив из грузовых танков при повреждении борта и/или днища судна, рассчитанный по эмпирической формуле (3) [12], составляет $Q_{общ}$ = 820,5 м^3.

Количественное выражение разлива по массе для перегружаемых нефтепродуктов, с учётом их плотности [14], составляет: мазут — 815,7 т; вакуумный газойль — 755,3 т; дизельное топливо — 681,9 т.

Максимальный расчётный разлив. В качестве максимального расчётного разлива для судна с двойным корпусом (двойным дном и двойными бортами) в соответствии с [9] принимается разлив в количестве 50% двух смежных танков, который, учитывая максимальную вместимость грузового танка V_i и плотность разлившихся нефтепродуктов, составляет объём, равный 14841,2 м^3, и массу, равную: для мазута — 14755 т; вакуумного газойля — 13662,8 т; дизельного топлива — 12334,5 т.

Согласно различным данным вероятность такого разлива — 1 раз в 8000 лет [12] или 1 раз в 167000 лет [15], поскольку опорожнение двух танков возможно только при переломе крупнотоннажного танкера на длинной волне. Учитывая наличие двойного корпуса, для таких серьёзных повреждений необходимы огромные нагрузки на корпус, которые могут возникнуть исключительно на гребне или у подошвы волны вследствие воздействия волн определённой длины. Условия плавания судов в морских портах черноморского побережья России позволяют допустить гипотетическую возможность подобных повреждений только на подходе к порту на внешнем рейде [15].

Итоговые результаты количественной оценки масштабов прогнозируемых аварийных разливов нефтепродуктов при их перевалке на акваториях рейдовых перегрузочных районов морских портов сведены в таблицу.

The calculated volume was Q_s = of 130,7 m^3.

Thus, the total projected spill from cargo tanks because of the damage to the board and/or the bottom of the vessel, calculated by the empirical formula (3) [12], is $Q_{общ}$ = 820,5 m^3.

A quantitative expression of the spill by the weight of the oil transshipped, with regard to its density [14], is for oil — 815,7 t; vacuum gas oil — 755,3 t; diesel fuel — 681,9 t.

The maximum calculated spill. The maximum calculated spill for the vessel with double hull (double bottom and double sides) according to [9] is the spill in the amount of 50% of two adjacent tanks, which, given the maximum capacity of cargo tanks Vi and the density of the spilled oil, is a volume of 14841,2 m^3, and a mass for oil — 14755 t; for vacuum gas oil 13662,8 t; for diesel fuel — 12334,5 t.

According to various reports, the probability of such spill — 1 time in 8000 years [12] or once in 167000 years [15], since the emptying of the two tanks is only possible when there occurs the fracture of large tankers on long wave. Given the presence of the double hull, such serious injuries require huge loads on the hull, which can be only on the crest or at the foot of the wave due to the impact of waves of a certain length. The conditions of navigation in seaports of the Black sea coast of Russia allow the hypothetical possibility of such damages only on the approach to the port in the outer roads [15].

The results of the quantitative assessment of the extent of the predicted disaster of oil spills during transshipment in the waters of the roadstead transshipment areas of seaports are summarized in the table.

Table
Таблица

Расчётные характеристики прогнозируемых аварийных разливов нефтепродуктов
Calculated characteristics of the predicted disaster of oil spills

п/п	Источник разлива / Sourse of the spill	Тип нефтепродукта / Oil product type	Объём, м^3 /Volume, m^3	Количество, тонны /Quantity, tons
1	Утечка нефтепродуктов в результате малого повреждения перегрузочного шланга / *Ooil spills as a result of a small damage to a handling hose*	Дизельное топливо / *Diesel fuel* Вакуумный газойль / *Vacuum gas oil* Мазут / *Fuel oil*	1,1	0,91 1,01 1,09
2	Утечка нефтепродуктов в результате перелива грузового танка судна при погрузке / *Oil spills as a result of overfilling of a cargo tank of the vessel during loading*	Дизельное топливо / *Diesel fuel* Вакуумный газойль / *Vacuum gas oil* Мазут / *Fuel oil*	25	20,8 23 24,8
3	Утечка нефтепродуктов в результате частичного разрыва перегрузочного шланга / *Oil spills as a result of partial tear of a handling hose*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	25	242,7 268,8 290
4	Утечка нефтепродуктов в результате полного разрыва перегрузочного шланга при погрузке судна / *Oil spills as a result of a complete tear of a handling hose during the loading of the vessel*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	292	83,1 92,1 99,4
5	Утечка нефтепродуктов в результате полного разрыва перегрузочного шланга при выгрузке судна / *Oil spills as a result of a complete tear of a handling hose during the unloading of the vessel*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	100	484,5 536,7 579,6
6	Утечка нефтепродуктов в результате повреждения борта и/или днища судна / *Oil spills as a result of damage to the sides and/or bottoms of the vessel*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	583	681,9 755,3 815,7
7	50% опорожнение двух смежных танков при их повреждении в результате перелома судна / *50% emptying of the two adjacent tanks when they are damaged as a result of the fracture of the vessel*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	820,5	12334,5 13662,8 14755
8	Утечка нефтепродуктов в результате частичного разрыва перегрузочного шланга / *Oil spills as a result of partial tear of a handling hose*	Дизельное топливо / Diesel fuel Вакуумный газойль / Vacuum gas oil Мазут / Fuel oil	14841,2	20,8 23 24,8

Заключение. Произведена количественная оценка вероятных объёмов и масс аварийных разливов таких нефтепродуктов, как мазут, вакуумный газойль и дизельное топливо в зависимости от прогнозируемых условий возникновения аварийных ситуаций, включающих различные виды повреждения узловых компонентов переливного оборудования при проведении погрузочно-разгрузочных операций между судами. Полученные в работе результаты расчётов могут быть использованы для составления заблаговременных прогнозов чрезвычайных ситуаций, обусловленных разливами нефтепродуктов на акватории рейдовых перегрузочных районов морских портов черноморского побережья России и принятия необходимых мер безопасности для предупреждения указанных разливов.

Conclusion. The authors have conducted quantitative assessment of the probable volumes and masses of accidental spills of petroleum products such as fuel oil, vacuum gasoil and diesel fuel depending on the predicted conditions of emergencies, including different types of damage to the components of transshipment equipment during loading and unloading operations between ships. The obtained results of calculations can be used to make early forecasts of emergencies caused by oil spills in the waters of the roadstead transshipment areas of the seaports of the Black sea coast of Russia and to take the necessary security measures to prevent these spills.

Библиографический список.

1. Ерёменко, О. А. Анализ методов локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов и целесообразности применения при этом сорбентов / О. А. Ерёменко, Н. Д. Поляков, В. В. Озерянская // Повышение международной конкурентоспособности российской инновационной продукции и технологий предприятий Ростовской области: сб. науч. трудов I междунар. науч.-практ. конф. —Ростов-на-Дону, 2016. — С. 74–78.

2. Формирование и функционирование территориально-производственных комплексов / В. В. Озерянская [и др.]. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2012. — 76 с.

3. Озерянская, В. В. Изучение и анализ природных сред, процессов и явлений / В. В. Озерянская, Б. Ч. Месхи, Р. Р. Лазуренко. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2017. — 149

References.

1. Eremenko, A.O., Polyakov, N.D., Ozeryanskaya, V.V. Analiz metodov lokalizatsii i likvidatsii avariynykh razlivov nefti i nefteprosuktov i tselesoobraznosti primeneniya pri etom sorbentov. [Analysis of methods of localization and liquidation of emergency floods of oil and oil products and the feasibility of application of sorbents.] Povyshenie mezhdunarodnoy konkurentosposobnosti rossiyskoy innovatsionnoy produktsii i tekhnologiy Rostovskoy oblasti: sb. nauch. trudov I mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Increase in the international competitiveness of Russian innovative products and technologies of the enterprises of the Rostov region: coll. of sci. works. proceedings of the I Intern. scientific.-pract. conf.] Rostov-on-Don, 2016, pp. 74-78 (in Russian).

2. Ozeryanskaya, V.V. et al. Formirovanie i funktsionirovanie territorial’no-proizvodstvennykh kompleksov. [The formation and functioning of territorial production complexes.] Rostov-on-Don: Izd. tsentr DSTU, 2012, 76 p. (in Russian).

3. Ozeryanskaya, V.V., Meskhi, B.C., Lazurenko, R.R. Izuchenie i analiz prirodnykh sred, protsessov i yavleniy. [Investigation and analysis of natural environments, processes and effects.] Rostov-on-Don, Izd. tsentr DSTU,

с.

4. Богданова, И. В. Выявление основных причин аварий и инцидентов на опасных производственных объектах химической отрасли / И. В. Богданова, А. А. Согомонян, Т. В. Дубовая // Новые направления модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности: материалы IV регион. науч.-практ. конф. ЮФО. — Краснодар : ИПЦ КубГУ, 2016. — С. 184–188.

5. Расчёты по безопасности и экологичности процессов и производств. / А. Е. Аствацатуров [и др.]. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2004. — 77 с.

6. Чачанагова, Е. Д. Пути решения проблемы восстановления водоёмов Ростовской области / Е. Д. Чачанагова, О. В. Дымникова, И. В. Думенко // Новые направления модернизации педагогического образования в формировании здорового образа жизни и безопасности жизнедеятельности: материалы V регион. науч.-практ. конф. ЮФО. — Краснодар : ИПЦ КубГУ, 2017. — С. 272–276.

7. Международное руководство по безопасности для нефтяных танкеров и терминалов (ISGOTT, 5-е издание). — Санкт-Петербург : ЗАО «ЦНИИМФ», 2007. — 504 с.

8. 7-М Общие и специальные правила перевозки наливных грузов. — Санкт-Петербург : ЗАО «ЦНИИМФ», 1997. — 560 с.

9. Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе Российской Федерации, во внутренних морских

2017, 149 p. (in Russian).

4. Bogdanova, I.V., Sogomonyan, A.A., Dubovaya, T.V. Vyyavlenie osnovnykh prichin avariy i intsidentov na opasnykh proizvodstvennykh ob’ektakh khimicheskoy otrasli. [Identification of the main causes of accidents and incidents at hazardous production facilities of the chemical industry.] Novye napravleniya modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovanii zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel’nosti: materialy IV region. nauch.-prakt. konf. YUFO. [New directions of modernization of pedagogical education in the formation of healthy lifestyle and safety: proceedings of the IV region. scientific.-pract. conf. SFD.] Krasnodar, IPTS KubGU, 2016, pp. 184-188 (in Russian).

5. Astvatsaturov, A.E. Raschety po bezopasnosti i ekologichnosti protsessov i proizvodstv. [The calculations of the safety and environmental performance of processes and production.] Rostov-on-Don, Izd. tsentr DSTU, 2004, 77 p. (in Russian).

6. Chachanagova, E.D., Dymnikova, O.V., Dumenko, I.V. Puti resheniya problem vostanovleniya vodoemov Rostovskoy oblasti. [Solutions to problems of water bodies restoration of the Rostov region.] Novye napravleniya modernizatsii pedagogicheskogo obrazovaniya v formirovanii zdorovogo obraza zhizni i bezopasnosti zhiznedeyatel’nosti: materialy V region. nauch.-prakt. konf. YUFO. [New directions of modernization of pedagogical education in the formation of healthy lifestyle and safety: proceedings of the V region. scientific.-pract. conf. SFD.] Krasnodar, IPTS KubGU, 2017, pp. 272-276 (in Russian).

7. Mezhdunarodnoe rukovodstvo po bezopasnosti dlya neftyanykh tankerov i terminalov (ISGOTT, 5-e izdanie). [International safety guide for oil tankers and terminals (ISGOTT, 5th edition).] Saint Petersburg, ZAO "TSNIIMF", 2007, 504 p. (in Russian).

8. 7-M Obshchie i spetsial’nye pravila perevozki nalivnykh gruzov. [7-M General and special rules for transportation of liquid cargoes.] Saint Petersburg, ZAO "TSNIIMF", 1997, 560 p. (in Russian).

9. Pravila organizatsii meropriyatiy po preduprezhdeniyu i likvidatsii razlivov nefti i

водах, в территориальном море и прилежащей зоне Российской Федерации : постановление Правительства РФ №1189 от 14.11.14 [Электронный ресурс] / Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http://docs.cntd.ru/document/420233302 (дата обращения : 15.07.17).

10. Нормы пожарной безопасности. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности : НПБ 105–03 [Электронный ресурс] / Электрон. фонд правовой и норматив.-техн. документации / Консорциум «Кодекс». — Режим доступа : http:// docs.cntd.ru /document/ 1200032102 (дата обращения : 11.07.17).

11. Методика оценки последствий аварий на пожаро-, взрывоопасных объектах // Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС (книга 2). — Москва : МЧС России, 1994. — 23 с.

12. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ-73/78). — Санкт-Петербург : АО «ЦНИИМФ», 2017 г. — 824 с.

13. Воробьев, Ю. Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. — Москва : Ин-октаво, 2005. — 368 с.

14. Маценко, С. В. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях. Расчёт достаточности сил и средств

nefteproduktov na kontinental'nom shel'fe Rossiyskoy Federatsii, vo vnutrennikh morskikh vodakh, v territorial'nom more i prilezhashchey zone Rossiyskoy Federatsii: postanovlenie Pravitel'stva RF no. 1189 ot 14.11.14. [Rules of organization of measures for prevention and liquidation of spills of oil and oil products on continental shelf of the Russian Federation, in internal seawaters, territorial sea and contiguous zone of the Russian Federation: the Russian Federation Government resolution No. 1189 of 14.11.14.] Elektron. fond pravovoy i normativ.-tekhn. Dokumentatsii. Konsortsium “Kodeks”. [Electron. fund of legal and the norm.-tech. documentation. Consortium "Kodeks".] Available at: http://docs.cntd.ru/document/420233302 (accessed: 15.07.17) (in Russian).

10. Normy pozharnoy bezopasnosti. Opredelenie kategoriy pomeshcheniy, zdaniy i naruzhnykh ustanovok po vzryvopozharnoy i pozharnoy opasnosti: NPB 105-03. [Standards for fire safety. Definition of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard: NPB 105-03.] Elektron. fond pravovoy i normativ.-tekhn. Dokumentatsii. Konsortsium “Kodeks”. [Electron. fund of legal and the norm.-tech. documentation. Consortium "Kodeks".] Available at: http:// docs.cntd.ru /document/ 1200032102 (accessed: 11.07.17) (in Russian).

11. Metodika otsenki posledstviy avariy na pozharo-, vzryvoopasnykh ob'ektakh. [Methods of assessment of consequences of accidents at fire-hazardous, explosive objects.] Sbornik metodik po prognozirovaniyu vozmozhnykh avariy, katastrof, stikhiynykh bedstviy v RSCHS (kniga 2). [Collection of methods for prediction of possible accidents, catastrophes, natural disasters in Russian System of Prevention and Response to ES (book 2).] Moscow, MCHS Rossii, 1994, 23 p. (in Russian).

12. Mezhdunarodnaya Konventsiya po predotvrashcheniyu zafryazneniya s sudov (MARPOL-73/78). [International Convention on the prevention of pollution from ships (MARPOL-73/78).] Saint Petersburg, AO "TSNIIMF", 2017, 824 p. (in Russian).

13. Vorobev, Y.L., Akimov, V.A., Sokolov, Y.I. Preduprezhdenie i likvidatsiya avariynykh razlivov nefti i nefteproduktov. [Prevention and

/ С. В. Маценко, Г. Г. Волков, Т. А. Волкова. — Новороссийск : МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. — 78 с.

15. Маценко, С. В. О вероятности крупномасштабных аварий танкеров в морских портах / С. В. Маценко, Н. Н. Чура, В. С. Бердников // Эксплуатация морского транспорта. — Санкт-Петербург : ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. — Вып. 2 (56). — С. 69–72.

liquidation of oil and oil products spills.] Moscow, In-oktavo, 2005, 368 p. (in Russian).

14. Matsenko, S.V., Volkov, G.G., Volkova, T.A. Likvidatsiya razlivov nefti i nefteproduktov na more i vnutrennikh akvatoriyakh. Raschet dostatochnosti sil i sredstv. [Elimination of spills of oil and oil products in sea and inland waters. Calculation of the sufficiency of forces and means.] Novorossiysk, MGA im. adm. F.F. Ushakova, 2009, 78 p. (in Russian).

15. Matsenko, S.V., Chura, N.N., Berdnikov, V.S. O veroyatnosti krupnomasshtabnykh avariy tankerov v morskikh portakh. [On probabilities of large-scale accidents of tankers at seaports.] Ekspluatatsiya morskogo transporta, Saint Petersburg GMA im. adm. S.O. Makarova, 2009, vol. 2 (56), pp. 69-72 (in Russian).

Поступила в редакцию 25.04.2017
Сдана в редакцию 26.04.2017
Запланирована в номер 05.06.2017

Received 25.04.2017
Submitted 26.04.2017
Scheduled in the issue 05.06.2017

Озерянская Виктория Викторовна,
кандидат химических наук, доцент Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
bommvoz@mail.ru

***Ozeryanskaya Viktorya Viktorovna**,*
Cand. of chem. Sciences, Associate professor, Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
bommvoz@mail.ru

***Лазуренко Роберт Робертович**,*
старший преподаватель кафедры Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
777bigdan@mail.ru

Lazurenko Robert Robertovich,
Senior lecturer of Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
777bigdan@mail.ru

Данилова Анастасия Романовна,
магистрант Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
ms.anastasiya1994@mail.ru

Danilova Anastasiya Romanovna,
Master’s degree student *of Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)*
ms.anastasiya1994@mail.ru

Лакуш Елизавета Васильевна,
магистрант Донского государственного технического университета,
(РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)
Elizaveta-sergeevna94@mail.ru

***Lakush Elizaveta Vasilevna**,*
Master’s degree student of Don State Technical University (Gagarin sq., 1, Rostov-on-Don, Russian Federation)
Elizaveta-sergeevna94@mail.ru